

# Quantifizierung des Stagnationsverhaltens von thermischen Solarsystemen

Robert Hausner, Christian Fink, Richard Riva  
AEE INTEC, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE,  
Institut für Nachhaltige Technologien  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf  
Tel.: +43-3112 / 5886, Fax: DW -18  
e-mail: r.hausner@aee.at, c.fink@aee.at

## 1 Einleitung

Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung (Kombisysteme) erobern sich einen wachsenden Markt in Europa. Insbesondere während der Sommerzeit treten jedoch manchmal Probleme im Stagnationsverhalten auf.

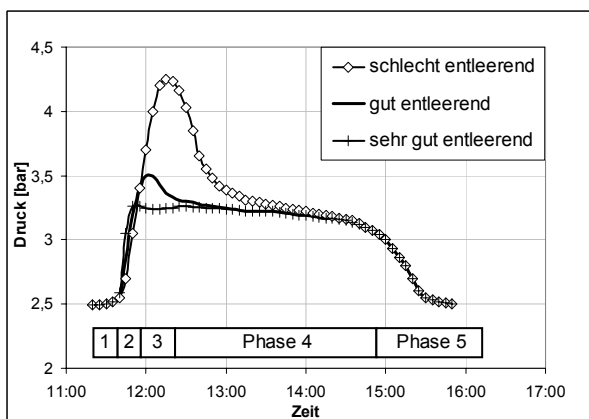
Stagnation beschreibt einen Zustand des Systems in welchem der Fluss des Wärmeträgers im primären Kreislauf des Systems unterbrochen wird – z. B. weil die Maximaltemperatur des Speichers erreicht wird - und solare Strahlung höherer Intensität am Kollektor auftrifft. Unter Stillstandsbedingungen mit hoher Strahlung erwärmt sich der Kollektor sehr rasch und der Absorber erreicht im Falle selektiver Beschichtung Spitzentemperaturen von etwa 200 °C (Flachkollektoren) bzw. 300 °C (Vakuum- Röhrenkollektoren). Das Wärmeträgermedium verdampft.

Bei entsprechender Auslegung nimmt das Membranausdehnungsgefäß (MAG) die expandierte und aus dem Kollektor und den Rohrleitungen durch Dampf verdrängte Flüssigkeit auf, sodass das Sicherheitsventil nicht anspricht und ein Flüssigkeitsverlust nicht auftritt. Trotz Einhaltung einschlägiger technischer Regeln kam es jedoch in Einzelfällen zu Flüssigkeitsverlust und zur Überhitzung temperaturempfindlicher Systemkomponenten (z. B. MAG) auch in weiter Entfernung vom Kollektor. Auch über Geräuschbelästigungen durch Kondensations-Druckschläge in Primär- und Sekundärkreis wurde von Seiten der Anwender geklagt.

Nach [1] ist der Vorgang der Stagnation in fünf getrennte Abschnitte unterteilbar:

- Phase 1 – Flüssigkeitsdehnung
- Phase 2 – Ausdrücken der Flüssigkeit aus dem Kollektor durch ersten Dampf
- Phase 3 – Leersieden des Kollektors – Phase mit Satttdampf
- Phase 4 – Leersieden des Kollektors – Satttdampf und überhitzter Dampf
- Phase 5 – Wiederbefüllen des Kollektors

Die Menge der in Phase 2 verbleibenden nicht ausgedrückten Restflüssigkeit bestimmt den weiteren Verlauf des Stagnationsvorganges entscheidend. Diese bestimmt Reichweite und Dauer extremer Belastungen durch Satttdampf. Die am Ende von Phase 3 auftretende **maximale Systembelastung** wird durch das **Entleerungsverhalten des Kollektors und des Systems** (Abbildung 1) während der Phase 2 festgelegt. In Phase 4, wenn innerhalb des Kollektors zunehmend überhitzter Dampf registriert wird, kommt es zu einer Abnahme der Systembelastung.



**Systembelastung** wird durch das **Entleerungsverhalten des Kollektors und des Systems** (Abbildung 1) während der Phase 2 festgelegt. In Phase 4, wenn innerhalb des Kollektors zunehmend überhitzter Dampf registriert wird, kommt es zu einer Abnahme der Systembelastung.

Abbildung 1: Systemdruck (schematisch) von gleichvolumigen Systemen mit unterschiedlichem Entleerungsverhalten. Stagnationsphasen sind am Beispiel des schlecht entleerenden Systems dargestellt. Das hohe Druckmaximum des schlecht entleerenden Systems bedeutet auch ein sehr weites Vordringen des Dampfes. Beim sehr gut entleerenden System ist nur der unmittelbare Kollektorbereich mit Dampf gefüllt.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie beauftragten Projektes aus der Programmlinie „Haus der Zukunft“ wurden nun diese grundlegenden Erkenntnisse systematisch auf **verschiedene Kollektor-** und **Systemtypen** mit unterschiedlichem Entleerungsverhalten angewendet. Experimentelle Untersuchungen hatten zum Ziel, **quantitative Aussagen** im Rahmen dieses Problemkreises zu gewinnen. Zusätzlich wurden analytische Untersuchungen bzw. Autoklavenuntersuchungen an Wärmeträgermedien durchgeführt, welche in einem Posterbeitrag des Unternehmens Tyforop explizit dargestellt werden.

Unterstützt wurde dieses Projekt durch Beiträge der Unternehmen: Sonnenkraft Vertriebs-GmbH, GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, S.O.L.I.D. GesmbH, Öko Tech GesmbH, Tyforop Chemie GmbH, RESOL-Elektronische Regelungen GmbH, Gebr. Tuxhorn GmbH & Co KG

## 2 Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen wurden an serienmäßig erzeugten und auch häufig in der Praxis verwendeten Einzelkollektoren ( $6 \text{ m}^2$ ) und in weiterer Folge an größeren Kollektorflächen, die aus 4 Stück Einzelkollektoren zusammengestellt wurden, mit unterschiedlicher Anordnung und Verschaltung, durchgeführt. Es wurden vier Flachkollektoren mit unterschiedlich verbundenen horizontalen bzw. vertikalen Absorberrohren, ein Serpentinenkollektor und ein Vakuumröhren-Kollektor mit U-förmigen Absorberrohren untersucht. Bei den Systemen wurden die relative Anordnung von MAG und Rückschlagventil zueinander sowie der Systemdruck variiert.

## 3 Stagnations-Kenngrößen und quantitative Beurteilung

Quantitative Auswertungen erlaubten für den Stagnationsfall folgende Größen zu bestimmen:

- Maximales Dampfvolumen,
- Maximale Dampfreichweite,
- Maximale Dampfleistung
- Restflüssigkeitsmenge im Kollektor

Die wesentliche Kenngröße ist die **maximale spezifische Dampfleistung - msD** ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Sie ist als die während des Druckmaximums gegebene Leistung (je  $\text{m}^2$  Kollektorfläche) des aus dem Kollektor ausströmenden Dampfes definiert. Sie ist im wesentlichen abhängig von Kollektortype, Systemeigenschaften (Anordnung Anschluss MAG – Rückschlagventil, Verrohrung), Systemdruck und solarer Strahlung (mit maximal  $1200 \text{ W}/\text{m}^2$  muss im Extremfall kurzfristig gerechnet werden). Aus ihr können Dampfvolumen und Dampfreichweite systemspezifisch errechnet werden und damit kann beurteilt werden, ob temperaturempfindliche Komponenten beeinträchtigt werden. Beisiele für msD sind in den Abbildungen 3 und 4 gegeben.

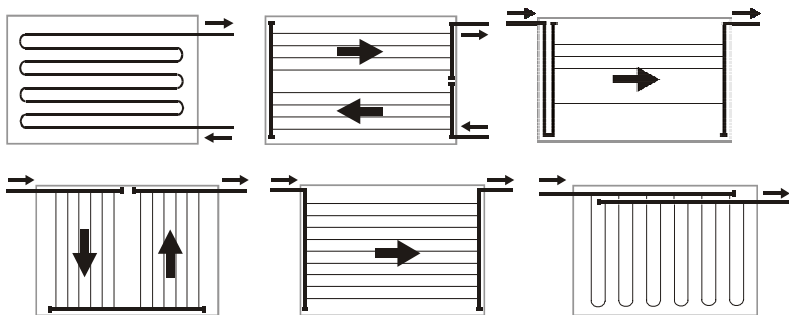


Abbildung 2: Untersuchte Kollektortypen: oben: gut entleerend, Kennzeichen: Absorber kann nach unten auslaufen,  $msD \leq \sim 50 \text{ W}/\text{m}^2$ , unten: schlecht entleerend, Kennzeichen: Absorber kann nicht nach unten auslaufen,  $msD \leq \sim 120 \text{ W}/\text{m}^2$  (Vakuum-U-Röhren-Kollektor:  $msD \leq \sim 140 \text{ W}/\text{m}^2$ )

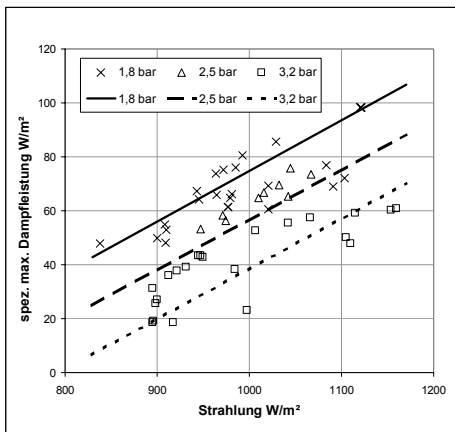


Abbildung 3. Spez. max. Dampfleistung in Abhängigkeit von System-Fülldruck und Strahlung mit Ausgleichsgeraden, Messbeispiel für schlecht entleerenden Kollektor (Abbildung 2 unten Mitte).

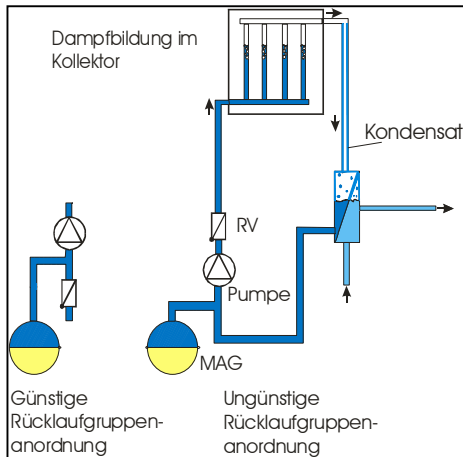


Abbildung 4. Abhängigkeit des Stagnationsverhaltens von der Rücklaufgruppenanordnung: Bei ungünstiger Anordnung steht nur die Vorlaufleitung zur Abgabe der Dampfleistung zur Verfügung.

Das Zusammenschalten mehrerer solcher Einzelkollektoren zu größeren Feldern ändert am Entleerungsverhalten wenig, wenn entsprechende Grundregeln eingehalten werden. In Serie geschaltete gut entleerende Einzelkollektoren entleeren auch durch Nachbarkollektoren hindurch gut, bei Parallelschaltung sind hochgeführte Rücklaufleitungsverbindungen (Abbildung 5) zu vermeiden.

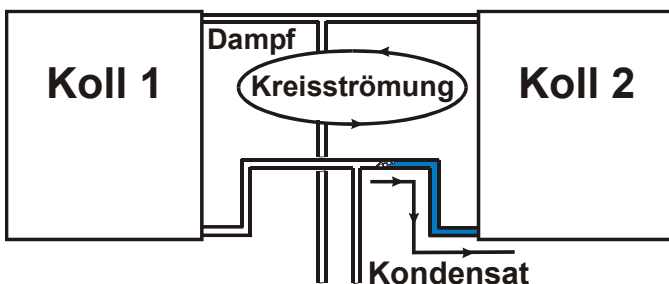


Abbildung 5. Parallelschaltung von Kollektorfeldern mit ungünstigem Entleerungsverhalten.

#### 4 Verbesserungsmaßnahmen

Auf Basis der Berechnung der maximalen Dampfreichweite kann nun beurteilt werden, ob ein bestimmtes System im Stagnationsfall unkritisch ist, oder ob temperaturempfindliche Bauteile erreicht werden. Sind im Entleerungsverhalten der Kollektoren und des Systems keine Verbesserungen möglich, so können nun unter anderem /1/ z. B. durch einen Kühler (Abbildung 6) temperaturempfindliche Komponenten geschützt werden, wobei der Kühler die von den geodätisch über ihm liegenden Rohrleitungen nicht mehr abgeführte Rest-Dampfleistung übernehmen muss.

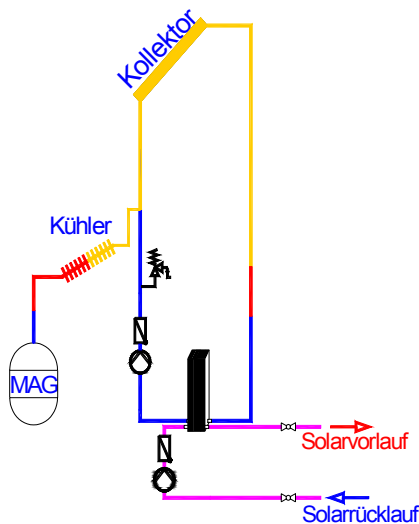


Abbildung 6. Stagnationskühler - mögliche Ausführungsform:  
Fußleistenheizelement mit einer Leistung von etwa 750 – 1000 W/m bei Sattdampftemperatur.

## 5 Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes

Die bisher angewendeten technischen Regeln zur Dimensionierung des MAG berücksichtigen als Dampfvolumen nur das Volumen des Kollektors. Dies ist bei schlechtem Entleerungsverhalten eindeutig zu wenig. Entsprechend der oben gemachten Angaben kann das Dampfvolumen (innerhalb und außerhalb des Kollektors) näherungsweise errechnet werden und in die folgende angepasste Rechenvorschrift einfließen. Der Faktor 0,9 im Term  $(P_0+1)/0,9$  steht für Temperaturänderungen im Gasraum des MAG durch die heiße Flüssigkeit. Große Unterschiede in der Montagehöhe zwischen MAG und Sicherheitsventil -  $H_{diff}$  - müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Flüssigkeitsvorlage im MAG (mit max. etwa 50 °C) sollte auch die aus dem Kollektor verdrängte heiße Flüssigkeit (bis 130 °C) auf die maximal zulässige Temperatur der Membran von 90 °C abpuffern.

$$V_N > \frac{V_G * n + V_V + V_D}{N} \quad n = \frac{\rho_{kalt}}{\rho_{warm}} - 1 \approx 0,09 \quad N = \frac{P_e + P_{diff} + 1 - (P_0 + 1)/0,9}{P_e + P_{diff} + 1} \quad P_{diff} = -H_{diff} * \rho_{kalt} / 10000$$

$V_N$	Nennvolumen MAG [l]	$V_G$	Gesamtvolumen Wärmeträger [l]
$V_V$	Flüssigkeitsvorlage [l]	$V_D$	maximales Dampfvolumen [l]
$n$	Ausdehnungsfaktor	$N$	Nutzeffekt MAG $\leq 0,5$
$\rho$	Dichte Wärmeträger [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_0$	Gefäßvordruck [bar]
$P_e$	Anlagenenddruck am Sicherheitsventil = Ansprechdruck – 20% [bar]		
$H_{diff}$	= Montagehöhe Ausdehnungsgefäß – Montagehöhe Sicherheitsventil [m]		
$P_{diff}$	Druckdifferenz entsprechend $H_{diff}$ [bar].		

## 6 Literatur

/1/ R. Hausner, C. Fink, Das Verhalten von Solarsystemen im Stagnationsfall, OTTI, Elfes Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein 2001